Aus dem Radiologischen Institut der Universität Freiburg i. Br.
Leiter: Priv.-Doz. Dr. Risse.

Eine absolute Messmethode von Radiumemanation.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Albert-Ludwigs-Universität

Freiburg i. Br.

vorgelegt von

Carl Max Hofner

aus Freiburg.

1935

Buchdruckerei Richard Mayr, Würzburg

Dekan: Professor Dr. Kapfhammer

Referent: Privatdozent Dr. O. Risse

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Begriffsbestimmungen, Vorkommen und Verwendung in der Medizin.

Der ständig wachsende Wert der Radiumemanation in der Behandlung einer Reihe von Haut- und inneren Leiden geht aus der großen Anzahl von Versuchen hervor, die in den letzten Jahren mit Radiumemanation am Menschen durchgeführt wurden.

Das erste Zerfallsprodukt des Radiums ist die gasförmige Radiumemanation, die sich ebenfalls durch Zerfall weiter verwandelt. Während die Halbwertszeit, d. h. diejenige Zeit, nach deren Ablauf die Substanz bereits zur Hälfte zerfallen ist, sich beim Radium auf 1580 Jahre beläuft, beträgt die der Radiumemanation nur 3,8 Tage. Radiumemanation kommt hauptsächlich in der Erde vor, sowohl in freier Form, als auch gelöst in Wasser. Sie entstand dort aus dem in einigen Gesteinssorten enthaltenen Radium; daraus erklärt sich, daß in bestimmten Gegenden, in denen radiumhaltiges Gestein vorherrscht, das Quellwasser besonders reich an Radiumemanation ist und auch ohne weiteres therapeutisch verwendet werden kann. Das ist der Fall bei einigen Quellen des Schwarzwaldes, des Erz- und Riesengebirges. Solches Wasser hat man aber nicht überall zur Verfügung, und ein Versand kommt wegen der kurzen Lebensdauer der Emanation nicht in Frage. Man hilft sich daher entweder mit Radiumsubstanz, die man in Lösung gibt, um aus ihr nach ausreichender Emanationsbildung diese durch Kochen oder Durchquirlen mit Luft auszutreiben, oder indem man präparierte Emanationsspender in Wasser legt, um dieses mit Emanation anzureichern.

Die gebräuchlichsten Anwendungsarten der Radiumemanation sind:

1. die Trinkkur mit Emanationslösung,
2. die Inhalation von Emanation,
3. das Emanationsbad,
4. die intravenöse Injektion von Emanation,
5. die Emanationssalbe.

Die hauptsächlichsten Anwendungsgebiete sind unter den Hautleiden Pruritus, Ekzeme, Psoriasis und ganz besonders schlecht heilende Ulzerationen verschiedener Aetiologie. In der inneren Medizin werden durch Emanation am günstigen beeinflußt Gicht, chronische Myalgien, Arthritiden und Neuralgien, vielfach aber auch Fälle von Leukämie, Lymphogranulomatose und Basedow.

Leider begegnet man in der Literatur oft noch sehr unklaren Angaben über die angewandten Emanationsmengen. Die Mengeneinheit der Emanation ist ein Curie, d. i. diejenige Emanationsmenge,

die mit 1 g Radium im „radioaktiven Gleichgewicht" steht. Dies Gleichgewicht ist dann erreicht, wenn die von der Muttersubstanz Radium in einem geschlossenen Raum abgegebene Emanationsmenge durch die ständige Neubildung nicht mehr vergrößert wird, weil immer ebenso viel Emanation zerfällt, wie nachgeliefert wird. Da die Einheit „Curie" für die Mehrzahl der vorkommenden Emanationsbestimmungen zu groß ist, wurde als kleinere den Anforderungen der Praxis besser entsprechende Einheit ein Eman, d. i. 10^{-10} Curie festgelegt. Bei den medizinischen Anwendungen spielt die Einheit der Emanationskonzentration (d. i. Radiumemanationsmenge pro Liter Wasser oder im Falle einer Messung der Luftbeschaffenheit pro Liter Luft) ein Mache[1]) eine Rolle. 1 Mache ist die Emanationsmenge, die allein (ohne ihre Zerfallsprodukte Radium A, B und C) einen Sättigungsstrom (siehe unten) von 10^{-3} elektrostatischen Einheiten unterhält. 1 Mache entspricht 3,64 Eman pro Liter.

Die Anzahl der Mache gibt also die Konzentration (Menge/Liter) einer Lösung an Emanation an, womit also die Leistungsfähigkeit einer Quelle bezw. einer Lösung für die Therapie sehr gut charakterisiert ist; sie kennzeichnet aber nicht eine verabreichte Emanationsmenge. Diese könnte vielmehr nur in Curie bezw. Eman oder Mache × Liter angegeben werden. Zu welchen Irrtümern das häufige Verwechseln dieser Begriffe in der Literatur führen muß, mag aus folgendem Beispiel hervorgehen: Ein Verfasser gibt bei der Beschreibung einer Emanationskur eine tägliche Gabe von 3000 bis 50 000 Mache an. Hier ist es, streng genommen, ohne briefliche Rückfrage nicht möglich, zu wissen, wieviel Emanation tatsächlich gegeben wurde. Denn genau so wenig wie etwa aus der Angabe einer Dosis von 2%iger Morphinlösung pro Tag die verabreichte Menge ersehen werden kann, sagt die angeführte „Dosis" (in Wirklichkeit ist es ja eine Dosisleistung) von 50 000 Mache etwas über die dem Kranken einverleibte Emanationsmenge aus. Es ist also bei Anwendung der Einheit „Mache" unbedingt erforderlich, daß neben die Mache-Angabe die verabfolgte Literzahl der entsprechenden Flüssigkeit gesetzt wird. Ob freilich die an sich genauere Angabe in Eman ausreicht, ist solange fraglich, als man nicht weiß, ob die Menge des Lösungsmittels eine Rolle spielt, d. h. ob z. B. 100 Eman in 1 ccm gegeben dasselbe leisten, wie 100 Eman in 1000 ccm. Jedenfalls ist und bleibt es zweckmäßig, Angaben über den Radiumemanationsgehalt einer Quelle nicht in Curie zu machen, da man diese bei der unbegrenzten Emanationslieferung einer Quelle entweder auf das Liter, oder auf die Zeiteinheit beziehen müßte, sondern hier die wirklich angebrachte Konzentrationseinheit „Mache" zu verwenden. Daß aber immer noch in der Therapie, wo es sich um Anwendung von Radium-Mengen han-

delt, an dem Begriff „Mache-Einheit" festgehalten wird, ist vielleicht nicht zuletzt die Schuld gewisser industrieller Kreise, die damit der Kundschaft einen großen Radiumgehalt ihrer Präparate vortäuschen.

Jedenfalls geht es nicht mehr an, daß in der Literatur sowohl wie im Handel bei emanationshaltigen Präparaten unter „Mache-Einheit" je nach Belieben eine Konzentrationseinheit oder eine Mengeneinheit verstanden werden kann.

Meßmethodik.

Um zuverlässig und unter eingehender Kontrolle mit Radiumemanation therapeutisch arbeiten zu können, ist eine genaue Kenntnis der Gabe und damit die Beherrschung der Meßmethodik der Emanation erforderlich. Auf den vielfältigen Eigenschaften der Radiumemanation könnte man eine ganze Anzahl von Meßverfahren aufbauen.

Die Radiumemanation sendet Alphastrahlen aus, positiv geladene, rasch fliegende materielle Partikel, die die verschiedensten Wirkungen chemischer, physikalischer und biologischer Natur zeigen. Unter den chemischen sind zu nennen die Knallgasentwicklung aus Wasser und die Ozonbildung. Auf photographischen Platten erzeugen sie eine deutliche Schwärzung, Gläser werden durch dauernde Einwirkung von Alphastrahlen violett bis braun gefärbt. Physikalische Wirkungen sind die Wärmeentwicklung und die Lumineszenz an gewissen Stoffen, sowie die ionisierende Wirkung.

Ionisationsmessungen.

Die beim Zerfall der Emanation entstehenden Alphastrahlen besitzen die Fähigkeit, Gase zu ionisieren und damit elektrisch leitend zu machen. Dieser Eigenschaft verdanken wir die heute gebräuchlichste Meßmethode. Sie beruht auf folgendem Prinzip: Angenommen, die Emanation ist in Wasser gelöst, so ist eine Möglichkeit, sie aus dem Wasser zu entbinden, die, daß man dieses auskocht und dadurch völlig entemaniert. Ein anderes Verfahren beruht darauf, daß die Emanation im nichtkochenden Wasser sich zu einem gewissen Prozentsatz der über dem Wasser befindlichen Luft mitteilt. Der Faktor, der die Löslichkeit eines Gases in einer Flüssigkeit angibt, heißt Verteilungskoeffizient und wird mit α bezeichnet. Er beträgt für Emanation in Wasser bei 20 Grad Celsius 0,25 (die Löslichkeit in Olivenöl ist z. B. 28,0). D. h. im Wasser bleiben nach eingetretener Verteilung bei 20 Grad 25% der vorhandenen Emanation gelöst, während sich 75% im darüber liegenden gleich großen Luftvolumen befinden. Will man von dieser

Tatsache Gebrauch machen, so füllt man das zu untersuchende Wasser etwa bis zur Hälfte in eine Gaswaschflasche. Darin wird es mittels eines Blasebalges mit Luft durchquirlt und die Emanation somit schnell verteilt. Die durchquirlende Luft strömt durch eine sogenannte Ionisationskammer hindurch und wird von da wieder zur Flasche zurückgeführt. Dieses Durchquirlen muß je nach der Größe der Kammer 10 bis 15 Minuten durchgeführt werden, bis die vollständige Verteilung der Emanation auf das ganze System erreicht ist.

In der Mitte der Ionisationskammer ist eine Elektrode isoliert angebracht, die mit einem Elektrometer in Verbindung steht. Als solches dient im einfachsten Falle ein Blattelektroskop, zwei Metallblättchen, die sich bei Aufladung je nach deren Stärke verschieden weit auseinander spreizen; die Ablesungen erfolgen auf einer Skala. Für feinere Messungen wird statt dessen oft ein sogenanntes Zweifadenelektrometer verwendet, oder man hat wie bei den Einfadenelektrometern e i n e n Metallfaden, der sich zwischen zwei entgegengesetzt aufgeladenen Schneiden bewegt und im Falle seiner Aufladung von der einen oder anderen Schneide angezogen wird. Zwischen Kammerwand und Elektrode wird Spannung gelegt und zwar so, daß die Kammerwand positiv ist, damit die entstehenden Emanations-Zerfallsprodukte, die positiv geladen sind, sich ausschließlich an der inneren negativen Elektrode niederschlagen. Der Grund dafür liegt in folgendem: Die Ionisationsmessungen geben nur dann richtige Werte, wenn der entstehende Strom gesättigt ist, d. h. wenn auch wirklich alle entstehenden Ionen durch die Strommessung erfaßt werden. Das Kriterium dafür, daß dieser Sättigungszustand erreicht ist, besteht darin, daß auch bei Anlegen einer noch größeren Kammerspannung der zu messende Strom nicht mehr zunimmt. Nun ist bekannt, daß der durch Alphateilchen hervorgerufene Ionisationsstrom sehr schwer zu sättigen ist. Würden sich bei negativer Ladung der Wand die Zerfallsprodukte zum größten Teil auf der Kammerwand niederschlagen, so wäre infolge der an der Wand durch die Elektrodenanordnung bedingten doch relativ schwachen Feldstärke noch schwerer Sättigung des Alphaionisationsstromes erreicht. Im Falle eines Niederschlagens der Zerfallsprodukte auf die innere Elektrode hingegen wird bei gleicher Kammerspannung die Alphaionisation durch die in der Nähe der Elektrode um vieles größere Feldstärke leichter voll erfaßt.

Der aktive Niederschlag besteht aus dem Radium A, einem Alphastrahler mit einer Halbwertszeit von 3,05 Minuten, dem Radium B, das nur Beta- und Gammastrahlen aussendet, mit einer Halbwertszeit von 26,8 Minuten und dem Radium C, das Alpha-, Beta- und Gammastrahlung zeigt, mit einer Halbwertszeit von 19,5

Minuten. Das letztere zerfällt größtenteils in Radium C' mit einer Halbwertszeit von 10^{-6} Sekunden und zu einem kleinen Teil in Radium C'' mit einer Halbwertszeit von 1,32 Minuten, deren ersteres Alphastrahlen und deren letzteres Betastrahlen entsendet. Praktisch kann die von den Beta- und Gammastrahlen verursachte Ionisationswirkung gegenüber der Alpha-Ionisation vernachlässigt werden, da sie nur ca. 1% der Gesamtionisation ausmacht.

Etwa 3½ Stunden nach dem Einquirlen der Emanation, an dem Zeitpunkt, wo sich ein „laufendes" Gleichgewicht zwischen den Zerfallsprodukten und der Emanation einstellt und die Ionisation ihr Maximum erreicht, wird der in der Kammer entstehende Ionisationsstrom gemessen. Man verfährt dabei entweder so, daß man den Faden bezw. die Blättchen des Elektroskops mit einem dem Kammerwandpotential (das eventuell auch 0 sein kann) entgegengesetzten Potential auflädt und die Entladezeit mißt, die durch den Ionisationsstrom hervorgerufen wird (Entlademethode). Oder man läßt den vorher ungeladenen Faden sich durch den Ionisationsstrom aufladen und mißt dann die Aufladezeit (Auflademethode). Natürlich muß die Empfindlichkeit des Elektrometers bekannt sein und ständig kontrolliert werden; zweckmäßigerweise so, daß durch einfaches Umschalten eine Spannung direkt an das Instrument gelegt werden kann und die Voltzahl pro Skalenteil mittels eines Voltmeters bestimmt wird.

Emanationsbestimmung.

Um aus den so gefundenen Ionisationsströmen, die ja den umgekehrten Zeitwerten proportional sind, den Emanationsgehalt des interessierenden Wassers zu bestimmen, stehen grundsätzlich zwei Verfahren zur Verfügung.

1. Die vergleichende Messung mit einer Standardlösung,
2. die Absolutmessung der Emanation gemäß Definition.

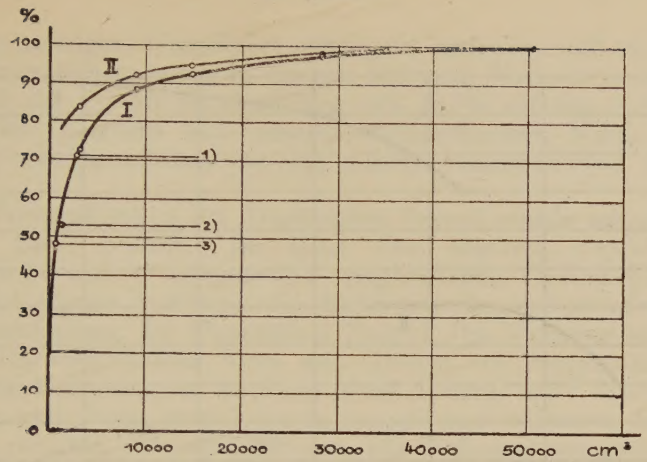
Die vergleichende Messung wird so gehandhabt, daß man sich eine Radiumlösung herstellt, z. B. durch Auflösen von Uranpechblende, deren Radiumgehalt bekannt ist. Man kann aber auch von verschiedenen Stellen Normallösungen von bekanntem Radiumgehalt beziehen und mit diesen die Meßapparatur eichen. Der Vorteil dieses Eichverfahrens liegt in der Einfachheit, die jede der später bei der Absolutmessung beschriebenen Einzelbestimmungen überflüssig macht. Nicht außer Acht lassen darf man indes die Nachteile, die daraus erwachsen, daß spurenweise ausfallendes Radium sich an den Gefäßwänden niederschlagen und so die Konstanz der Normallösung wesentlich beeinträchtigen kann. Ferner besteht die Gefahr, daß kleine Glassplitter oder sonstige Verunreinigungen die Emanation okkludieren, d. h. in der Lösung zu-

rückbehalten. Außerdem kann bei dem Oeffnen des Glasgefäßes, in dem sich die Normallösung befindet, unter Umständen Emanation entweichen, wenn nicht genügend Unterdruck im Gefäß vorhanden war.

Die Absolutmessung.

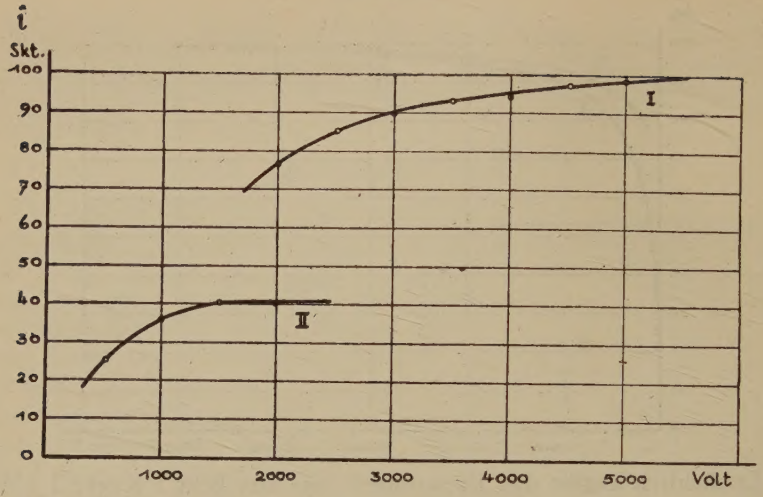
Bei der Absolutmessung der Emanation muß außer einigen anderen Faktoren hauptsächlich die Tatsache berücksichtigt werden, daß in jedem Gefäß notwendig ein kleiner Teil der ionisierenden Alphastrahlen unausgenützt bleibt und somit dem Ionisationsstrom verloren geht. Um diesen Verlustfaktor zu bestimmen, gingen wir von folgendem Gedankengang aus: Die Reichweite der Alphastrahlen der Emanation beträgt im Durchschnitt 4 cm. Es wird also der Teil der Alphastrahlen, dessen Entstehungsort der Wand näher liegt als 4 cm, von der Wand des Meßgefäßes absorbiert werden. Und zwar werden die Alphastrahlen um so schlechter ausgenutzt werden, je näher sich solcher der Wand befinden. Diese Randzone nun, innerhalb derer nur eine teilweise Ausnutzung der Alphastrahlen stattfindet, wird in einer kleinen Kammer einen beträchtlichen Teil des Gesamtvolumens ausmachen. Vergrößert man aber den Inhalt des Ionisationsraumes, so wird der prozentuale Anteil dieser Randzone immer kleiner werden gegenüber dem Gesamtraum, um schließlich in einer unendlich großen Meßkammer ganz zu verschwinden. Eine Ueberschlagsrechnung zeigt nun, daß eine zylindrische Kammer, deren Höhe nicht viel größer ist als ihr Durchmesser, bei 50 000 ccm Rauminhalt eine praktisch unendlich große Meßkammer sein muß, d. h. der Ionenverlust in den Randzonen sollte nicht mehr als 2% betragen. Um das zu prüfen, nahmen wir fünf verschieden große, unter sich proportionale Meßkammern, mit den folgenden Ausmaßen:

Kammer Nr.	I	II	III	IV	V	cm
Höhe	43,7	37,3	30,2	25,0	19,0	cm
Durchmesser	38,4	15,5	12,5	10,5	7,1	cm
effektives Volumen	50540	28100	14690	8630	2970	ccm
$\frac{0}{V}$	0,151	0,189	0,237	0,282	0,344	
Elektrodenlänge	33,2	27,5	23,5	18,3	15,1	cm



Tatsächlich ergibt das Experiment, wie aus Bild I Kurve I (Mittelwerte aus mehreren Messungen) zu ersehen ist, daß der Ionisationsstrom von der kleinsten bis zur zweitkleinsten Meßkammer stark zunimmt, daß aber darnach die Anstiegskurve flacher wird und die Ionisationsströme in der zweitgrößten und größten Kammer nur mehr um 2,5% differieren. Es ist also aus dem Sättigungscharakter der Kurve zu schließen, daß in unserer größten Kammer eine weitgehende Ausnutzung der Ionisation stattfand, und es ist weiterhin augenscheinlich, daß in einer noch größeren Ionisationskammer ein wesentlich stärkerer Strom nicht mehr erzielt werden kann. Es wäre also bei einer Ionisationsmessung in der kleinsten Kammer erforderlich, auf den gefundenen Wert 37,5% zuzuschlagen, um den wirklichen Wert des Ionisationsstromes zu erhalten.

Bei der Ausführung der Versuche kam es natürlich darauf an, die einzelnen Kammern mit wirklich genau den gleichen Emanationsmengen zu beschicken. Wir gingen dazu folgendermaßen vor: die Emanation wurde aus einer Radiumchlorid-Lösung nach dem Zirkulationsverfahren so lange in fünf gleich große, mit Wasser gefüllte Kochflaschen geblasen, bis sich in jeder dieselbe Emanationsmenge befand. Diese Emanation wurde wieder im geschlossenen Kreislauf in die Kammer eingeblasen. Darnach wurden an die Kammer I + 5000 Volt angelegt, Kammer II + 4000 Volt, Kammer III + 3500 Volt, Kammer IV + 2700 Volt, Kammer V + 2000 Volt, Spannungen, die für die praktisch überhaupt erreichbare Sättigung durch Vorversuche festgestellt wurden. Bild II Kurve I zeigt die Abhängigkeit des Ionisationsstroms von der angelegten Spannung im ungünstigsten Falle, nämlich bei der größten Kammer, Kurve II bei der kleinsten Kammer. Der Ionisationsstrom wurde mittels eines empfindlichen Spiegelgalvanometers nach 3½ Stunden gemessen.



Aehnliche Versuche auf diesem Gebiet wurden schon verschiedentlich ausgeführt. 1905 wurde von W. Duane, 1912 von Flamm und Mache der Versuch gemacht, durch die Bestimmung der Emanation zwischen einem Plattenkondensator, dessen wirksames Volumen man durch Veränderung des Plattenabstandes beliebig variieren konnte, den Anteil der nicht gemessenen Alphastrahlung näher zu bestimmen. 1910 veröffentlichten Duane und Laborde Messungen, die sie mit gleich großen, bekannten Emanationsmengen in verschieden großen Kammern durchgeführt haben, und als deren Ergebnis sie eine Formel angaben, die es ermöglichen sollte, in jedem zylindrischen Meßgefäß die wirklich vorhandene Emanationsmenge festzustellen. Darnach beträgt der in einer zylindrischen Kammer von 1 Curie Emanation und ihren Zerfallsprodukten gelieferte Strom

$$i = 6{,}31 \cdot 10^6 \ (1 - 0{,}572 \cdot V) \text{ elektrostat. Einh.}$$

Der Ausdruck $6{,}31 \cdot 10^6$ wurde empirisch festgelegt für den von der Emanation eines Curie und ihren Zerfallsprodukten unterhaltenen Maximalstrom bei voller Ausnutzung der Alphastrahlen. Der zweite Teil der Formel soll angeben, wie groß der Ionisationsverlust in einem Meßraum ist, dessen Höhe ungefähr dem doppelten Durchmesser entspricht, und wo 0 die innere Oberfläche der Kammer in qcm und V das Volumen in ccm angibt.

Es war natürlich von Interesse von uns, die Anwendbarkeit des Faktors $(1 - 0{,}572 \cdot V)$ obiger Formel auf unsere Versuchsanordnung zu prüfen. Die damit errechnete Kurve zeigt im Prinzip einen ähnlichen Verlauf wie die von uns gemessene, jedoch liegen die Werte von dem Meßvolumen von 10000 ccm an abwärts erheblich

über den unsrigen. Umgekehrt würde das bedeuten, daß im Falle einer Emanationsmessung in unserer kleinsten Kammer von 3000 ccm nach der Formel ein Aufschlag von 19,5% auf den Meßwert nötig wäre, hingegen nach unseren Meßergebnissen 37,5% zugeschlagen werden müßten, um den wahren Ionisationswert zu erhalten.

Die Verwendbarkeit der Duaneschen Formel wurde schon von anderer Seite geprüft. Im Jahre 1916 machten Leaming, Schlundt und Underwood vergleichende Untersuchungen mit verschiedenen Systemen von Elektroskopen und jeweils auch unter Anwendung der Duaneschen Formel. Die Verfasser prüften dabei auch verschiedene Arten und Größen von Ionisationskammern. Die Volumina der einzelnen Meßkammern, unter denen sich auch die von Duane und Laborde angegebenen befanden, bewegten sich zwischen 557 und 14395 ccm. Die Meßapparaturen wurden mit Normallösungen geeicht.

Der von den Verfassern auf Grund ihrer Messungen aufgestellten Tabelle ist zu entnehmen, daß die Ionisationsstromwerte in den Meßkammern, deren Format etwa dem der unsrigen entsprach, sich weitgehend in unsere Kurve einfügen lassen. Es sind das die mit den Lind-Elektroskopen, dem Wulf-Elektrometer und der von Randall angegebenen zylindrischen Kammer gemessenen Werte (Punkt 3), 2) und 1) in Bild II. Eine Ausnahme bildet das Fontaktometer von Mache und Meyer, das trotz eines Inhaltes von 14395 ccm nur eine Ionisationsausnutzung von 71% des empirisch festgestellten Stromwertes ergab. Jedoch ist anzunehmen, daß diesem Wert keine ausreichende Sättigung des Ionisationsstromes zugrunde lag.

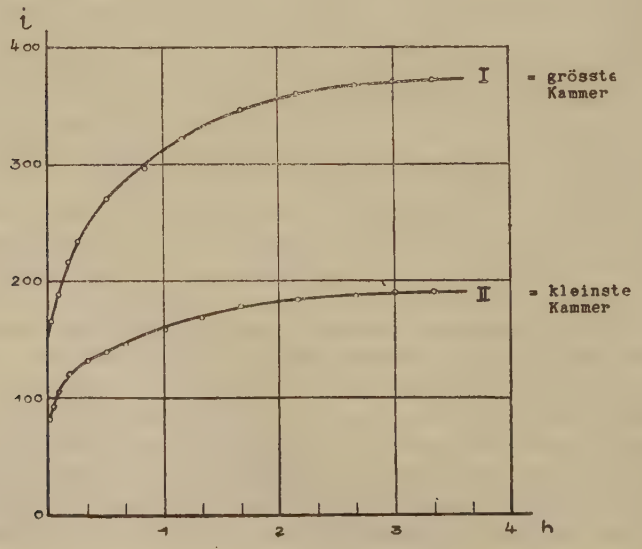
Außerdem wurden die Ionisationsströme in den beiden von Duane und Laborde angegebenen Kammern verglichen. Prinzipiell unterscheiden sich diese Kammern dadurch von den übrigen, daß ihr Durchmesser nicht wie bei den anderen etwa ¾ der Höhe betrug, sondern höchstens die Hälfte. Ihre Volumina waren in einem Falle 10057 ccm, im anderen 740 ccm. Die Ionisationsmessungen ergaben nun bei der größeren Kammer eine Ausbeute der Alphastrahlen von 86%, bei der kleineren von 56,5%. Verglichen mit unseren Meßergebnissen würde die Ausnutzung von 86% sich unserer Kurve anpassen. Hingegen ist der Wert für die kleinere Kammer verglichen mit unserer Kurve um 13% zu hoch.

Bemerkenswert sind die Vergleiche, die die Verfasser anstellten zwischen den von ihnen gemessenen Stromwerten und den jeweils mit der Formel errechneten. Dabei zeigt es sich, daß die ersteren durchweg unter den errechneten Werten lagen. Da aber die Formel, wie gesagt, seinerzeit auf Grund von Messungen in langen und schmalen Kammern aufgestellt wurde, so ist auch hier anzunehmen,

daß der geringere Meßwert auf der anderen Bauart der übrigen Kammern basiert. Bei den Originalkammern von Duane und Laborde stimmten die errechneten Werte, wie zu erwarten, genau mit den gemessenen überein.

Um zu unseren eigenen vergleichenden Kurven zurückzukehren, so ist die Differenz derselben namentlich unterhalb 10000 ccm Ionisationsinhalt deutlich ersichtlich. Zusammenfassend läßt sich auf Grund der von Leaming, Schlundt und Underwood angestellten Vergleiche, sowie nach unseren Untersuchungen feststellen, daß der Reduktionsfaktor in der von Duane und Laborde aufgestellten Formel keine allgemeine Gültigkeit hat, sondern für jede Ionisationskammer neu bestimmt werden muß.

Soll also eine Absolutmessung von Radiumemanation durchgeführt werden, so ist es besser, die Formel von Duane und Laborde in der Weise zu umgehen, daß man in die Meßkammer selbst und in eine sehr große Kammer — deren Größe aus der Kurve I in Bild I hervorgeht — desselben Formats gleiche Emanationsmengen einführt, den prozentualen Unterschied ihrer Ionisationsströme mißt und in Rechnung setzt. Weiter ist zu berücksichtigen, daß der nach 3 bis 4 Stunden gemessene Stromwert auf den der reinen Emanation zugehörigen Wert umgerechnet werden muß. Diesen haben wir experimentell durch Beobachtung der Emanation vom Augenblick des Einfüllens ab bis zum Gleichgewicht nach 3½ Stunden ermittelt.



Aus Bild III ist zu ersehen, daß die Anstiegskurve der Emanation in der größten Kammer einen steileren Verlauf nimmt als in der kleinsten Kammer. Diese Abweichung mag folgende Ursache haben: die Reichweite der Alphastrahlen des aktiven Niederschlages ist durchschnittlich größer als die Reichweite der von der reinen Emanation ausgesandten Alphastrahlen. Die größte Reichweite zeigen die Alphastrahlen des Radium C' mit rund 7 cm. Es werden also auch hier in der großen Kammer verhältnismäßig mehr lange Alphastrahlen ausgenutzt als in der kleinen Kammer. Mit der fortschreitenden Bildung des aktiven Niederschlages werden dementsprechend diese langen Alphastrahlen sich immer mehr bemerkbar machen, was in dem verschieden steilen Anstieg der beiden Kurven zum Ausdruck kommt.

Bei einer Emanationsmessung in der größten Kammer von 50500 ccm müßten also 42% des Gleichgewichtswertes für den reinen Emanationswert angesetzt werden, für die kleinste Kammer von 2973 ccm 46%. Mit diesen Werten stimmt auch der von Duane und Laborde für den anfänglichen Ionisationsstrom angegebene Wert annähernd überein. Ist nun noch die Kapazität des Meßinstrumentes bestimmt, so kann unter Einrechnung der oben genannten Faktoren die Emanationsmessung stattfinden.

Da das Radiologische Institut gebeten wurde, in einigen Bädern der Umgebung das ohnehin schon zu Therapiezwecken verwendete Wasser auch auf seinen Emanations- bezw. Radiumgehalt zu untersuchen, seien hier die nach dem geschilderten Verfahren ermittelten Werte genannt. Es wurde dabei Wert darauf gelegt, diejenige Emanationsmenge zu bestimmen, mit der der Patient bei einem Bad tatsächlich in Berührung kommt:

Thermalbad Badenweiler	2,10 Mache
Freiburger Leitungswasser	0,73 „
Glotterbad „Stahlquelle“	0,60 „
Glotterbad „Radiumquelle“	0,44 „
Stahlbad Littenweiler	0,31 „
Thermalbad Krozingen	0,15 „

Das Freiburger Wasser, das an verschiedenen Stellen der Stadt entnommen wurde, zeigte jeweils dieselbe Aktivität. Zu dem Wasser der beiden Thermen ist zu sagen, daß dieses infolge ungünstiger Badeanlage und infolge der hohen Temperatur von 40,3 Grad Celsius (Krozingen) bezw. 26,4 Grad Celsius (Badenweiler) seine Emanation zu einem großen Teil sofort abgibt.

Die Möglichkeit, daß Radiumsubstanz im Wasser sein könne, wurde bei diesen Bestimmungen dadurch ausgeschaltet, daß das Wasser nach einer Zeit, in der sich etwa entstehende Emanation erneut angereichert hätte, nochmals untersucht wurde. Die Probe

fiel in allen Fällen negativ aus. Es scheinen also die untersuchten Wassersorten auf Grund ihres geringen Radiumemanationsgehaltes mit keinem der im Schwarzwaldboden an verschiedenen Orten eingelagerten Granitmassive höheren Radiumgehalts in Verbindung zu stehen.

Zusammenfassung.

Es wird eine absolute Meßmethode der Ionisation von Luft durch Radiumemanation beschrieben unter besonderer Rücksichtnahme auf die in jeder kleinen Meßkammer nicht voll zur Wirkung gelangenden Alphastrahlung. Die bisher zum Ausgleich dieses Verlustfaktors benutzte von Duane und Laborde aufgestellte Formel hat sich unter anderem nach Untersuchungen von Leaming, Schlundt und Underwood als unzureichend erwiesen.

Zur Bestimmung dieses Verlustfaktors werden fünf Meßkammern aus Aluminium in der Größe von 2970 bis 50500 ccm Inhalt auf ihre Ionisationsströme bei gleichem Emanationsgehalt geprüft. Aus der sich ergebenden Kurve wird festgestellt, daß der Ionisationsstrom von der kleinsten Kammer an aufwärts zunächst stark ansteigt und bei der größten Kammer annähernd ein Maximum erreicht. Damit ist bewiesen, daß bei einer Kammer unseren Formats von rund 50000 ccm Inhalt eine fast völlige Ausnutzung der Alphastrahlen stattfindet.

Bei Einsatz der untersuchten Volumina in die Duanesche Formel ergaben sich Werte, die wesentlich unter den gemessenen lagen. Die Duanesche Formel hat sich damit auch in unserem Falle als ungenügend erwiesen. Auf Grund der angegebenen Methode ist es möglich, auch ohne Zuhilfenahme dieser Formel den Zuschlagsfaktor für die nicht gemessene Alphastrahlung zu bestimmen und damit eine Uebereichung auf das Meßinstrument vorzunehmen.

Abschließend werden die Ergebnisse einiger Emanationsmessungen von radioaktiven Quellen aus der Umgebung Freiburgs angegeben.

Herrn Priv.-Doz. Dr. O. Risse danke ich bestens für die Ueberlassung des Themas, sowie Herrn Dr. E. Albrecht für die mir bei der Anfertigung dieser Arbeit gegebenen Anregungen und wertvollen Ratschläge.

Literatur.

Duane, W. und Laborde, A.: Compte Rendue 1910, 1421, S. 150.

Fernau, A. und Riehl, G.: Physik und Chemie des Radium und Mesothor; Jul. Springer, Wien 1926.

Gockel, A.: Die Radioaktivität von Boden und Quellen; Frd. Vieweg, Braunschweig 1914.

v. Hevesy, G. und Paneth, F.: Lehrbuch der Radioaktivität; Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1931.

Kohlrausch, K. W. F.: Radioaktivität; Handbuch der Experimentalphysik, Bd. XV; Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1928.

Leaming, T. H., Schlundt, H. und Underwood, I. E.: Trans. Amer. Electrochem. Soc. 1916, 30, S. 365.

Meyer, St. und Schweidler, E.: Radioaktivität; B. G. Teubner, Berlin 1927.

Spiegler, G. und Fernau, A.: Taschenbuch der medizinischen Röntgen- und Radiumtechnik; Jul. Springer, Wien 1930.

Lebenslauf.

Ich bin geboren am 8. April 1911 in Ettlingen (Baden) als Sohn des Bürgermeisters Dr. Carl Hofner und seiner Ehefrau Melly, geb. Schönith. Nach der Wahl meines Vaters als Bürgermeister in Freiburg i. Br. besuchte ich die dortige Seminarübungsschule vom Frühjahr 1917 bis Herbst 1920. Anschließend trat ich in das Freiburger Bertholdgymnasium ein, wo ich im Frühjahr 1929 das Reifezeugnis erhielt. Nach 5 Semestern medizinischen Studiums in Freiburg bestand ich im Herbst 1931 die ärztliche Vorprüfung. Die beiden folgenden Semester studierte ich in München und Wien, um nach weiteren 4 Semestern in Freiburg mein Studium im Herbst 1934 mit dem medizinischen Staatsexamen abzuschließen.